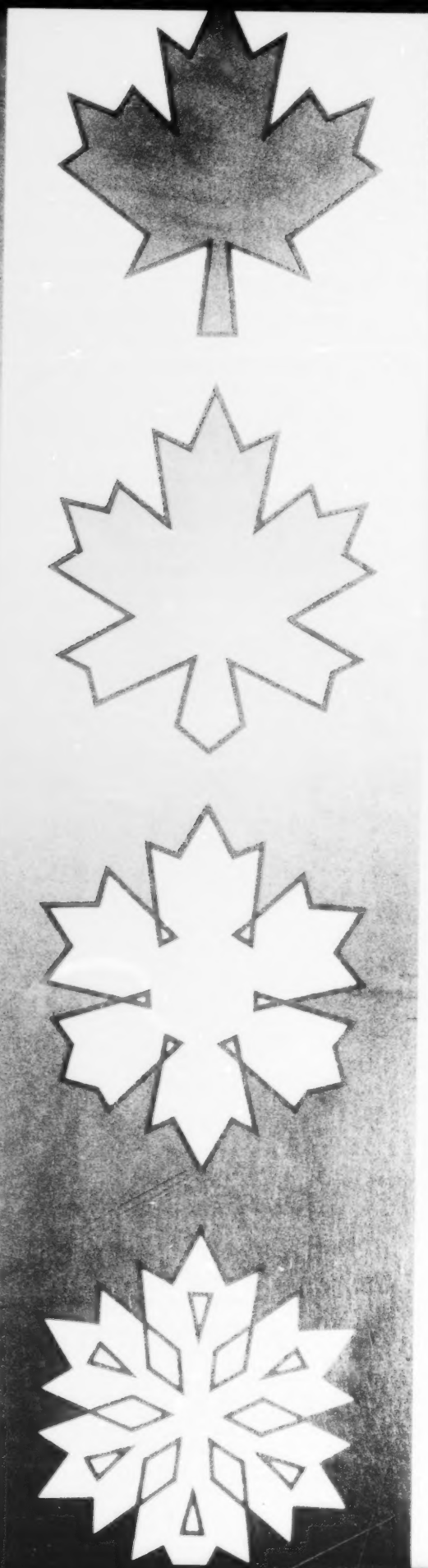
Environment Canada Environnement Canada

CLIMATE CHANGE DIGEST

The Implications of Climate Change for Agriculture in the Prairie Provinces

CCD 88-01



Canada

88-03313/

CLIMATE CHANGE DIGEST

CCD 87-01 Canadian Climate Impacts Program

CCD 87-02 Implications of Climatic Change for Agriculture in Ontario

CCD 87-03 Implications of Climatic Change for Navigation and Power Generation in the Great Lakes

CCD 87-04 Effects of a One Metre Rise in Mean Sea-Level at Saint John, New Brunswick and the Lower Reaches of the Saint John River

CCD 88-01 The Implications of Climate Change for Agriculture in the Prairie Provinces.

Environment Canada Environnnement Canada

THE IMPLICATION OF CLIMATE CHANGE FOR AGRICULTURE IN THE PRAIRIE PROVINCES

A Summary of Department of Agricultural Economics Reports

Towards a Socio-Economic Assessment of the Implications of Climate Change for Agriculture in Manitoba and the Prairie Provinces: Phases I and II (March, 1986)

Socio-Economic Assessment of the Implications of Climate Change for Agriculture in the Prairie Provinces: Phase III (May, 1987)

Prepared for
Climate Change Digest
Atmospheric Environment Service

by
Louise M. Arthur
Department of Agricultural Economics
University of Manitoba

DISCLAIMER

This publication contains a summary of the results of a study prepared under contract, by the University of Manitoba, to the Canadian Climate Centre. The views and opinions expressed herein are those of the authors and do not necessarily state or reflect those of the Government of Canada or any agency thereof.

Single copies of this publication may be obtained, free of charge, by writing to the:

Climate Program Office
Canadian Climate Centre
4905 Dufferin Street
Downsview, Ontario
M3H 5T4

Copies of the complete reports may be purchased by writing to the:

Department of Agricultural Economics
University of Manitoba
Winnipeg, Manitoba
R3T 2N2

Published by Authority of the
Minister of the Environment

©Minister of Supply and Services
Canada 1988

Catalogue No. EN57-27/1988-01
ISBN 0-662-55621-6
ISSN 0835-3980

FOREWORD

The composition of the earth's atmosphere is undergoing a major global change. Human activities, such as deforestation, the burning of fossil fuels and even agricultural practices have significantly increased the amount of carbon dioxide and other "greenhouse gases" in the atmosphere. There is now growing scientific evidence that increasing concentrations of these gases could result, over the next few decades, in a rise of global mean temperature which is greater than any in man's history (Villach Conference, Austria, October 1985). Studies indicate that warming in the range of 1.5 - 4.5°C could be expected; in Arctic regions it is likely to be even greater.

In the past few years, there has been an escalating international awareness of the dependence of various economic sectors on climatic fluctuations and on the implications of long-term climate change. Concerns have been expressed for the potential loss of coastal areas due to anticipated global sea level rises, destruction of the habitats of innumerable plant and animal species, and disruption of world agriculture, to name a few. At the same time, climate change offers the potential for significant economic opportunity. For Canada, this is likely to include an extension of the growing season and year-round shipping on the Great Lakes. The key element in successfully adapting to these changes will be our ability to mitigate the negative effects and to take advantage of the benefits.

In recognition of the impact of climate and climatic fluctuations on society, Canada established a Canadian Climate Program (CCP) in 1978 to integrate the efforts of various federal and provincial agencies as well as the universities and the private sector in the field of climatology. The Atmospheric Environment Service (AES) of Environment Canada was given responsibility as the lead agency for the program. One of the program's components has, since 1984, focussed on research studies to assess and identify the potential social and economic impacts of climate warming expected under a doubled carbon dioxide scenario. Most of these studies have been conducted under contract by Canadian universities.

While these and other studies over the last several years have clearly shown that increasing "greenhouse gas" concentrations have the potential for profound impacts on our physical environment, the results must still be treated as preliminary. There is general scientific agreement on the direction of long-term climate change, but uncertainty in the estimates of the magnitude and timing.

It is evident that additional studies are required in order to provide planning and policy information to all levels of government and private sector users. These would further serve to identify potential mitigative and adaptive strategies and be in keeping with Environment Canada's theme of "anticipate and prevent".

G. A. Sainte-Marie
Deputy Minister
Environment Canada

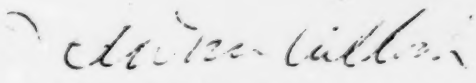
PREFACE

The Canadian Climate Centre (CCC) has funded a number of studies to investigate the potential impacts, on various sectors of the Canadian economy, of climate warming expected because of the increasing concentrations in the atmosphere of the "greenhouse gases". The equivalent of a doubling of the amount of CO_2 was the situated selected.

The projections of future climatic variables under this 2 x CO_2 scenario were adapted from two U.S. General Circulation Models - one developed by the Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) and the other by the Goddard Institute for Space Studies (GISS). Researchers used these computer model predictions, or other derived variables, as inputs to various socio-economic models. Using these tools, and analyses of historical climate anomalies and their effects, investigators identify some of the first-order impacts of increased CO_2 and climate change.

The first issue of the Climate Change Digest identified the major socio-economic impact studies undertaken since 1984. A list of earlier titles in the series appears on the inside front cover. This issue presents the summary results of three phases of a study to determine the likely impact of climate change on agriculture in the Prairie Provinces.

The conclusions of this study are that the impacts of climate change under the doubled CO_2 scenarios are not likely to be dramatic for prairie agriculture for the <u>average</u> temperatures and precipitation predicted by the models. I must caution that another study, which will be reported in a subsequent issue of Climate Change Digest, looks at the effects of <u>variability</u>. That study, "The Effects of Climate Change on Agriculture in Saskatchewan, Canada", concludes that there will be substantial adverse effects over any twenty- to thirty-year period under the new climate regime, largely due to a greater frequency and severity of droughts.



J.A.W. McCulloch
Director General
Canadian Climate Centre

IMPLICATIONS OF CLIMATE CHANGE FOR AGRICULTURE IN THE PRAIRIE PROVINCES

HIGHLIGHTS

- Crop yield impacts of climatic warming from 2 x CO_2 vary markedly across climatic change scenarios (based on GISS and GFDL experiments). The yield results are sensitive to the method used to distribute the scenarios' monthly mean temperature increases across days of the months. Flat and trigonometric distributions were tested.

- Crop yield effects also vary markedly across crops and prairie regions (Table 1) primarily because the precipitation changes that are estimated to accompany climatic warming range from substantial increases in some regions and months to decreases in other regions.

- Changes in Manitoba crop revenues estimated using optimization techniques show small (<3%) revenue gains under all scenarios except the GISS results with flat daily distributions, which showed even smaller losses in revenues (Figure 3).

- Crop revenue changes for Saskatchewan and Alberta were extrapolated directly from yield changes and historic acreages and prices, and show larger responses to climate change. Again only one scenario shows substantial losses, the 7 percent losses under the trigonometric distribution of the GFDL results (Figure 3).

- Given the small crop revenue effects of most scenarios, the effects on the revenues of other sectors with linkages to agriculture are negligible, being in the same direction but smaller in percentage terms than the crop revenue changes.

- There is no consensus in the literature concerning changes in climatic variability under 2 x CO_2. However, the imposition of increased temperatures on current variability could result in greater drought frequency.

- Direct effects of increased CO_2 have been shown to affect a crop's water use efficiency, particularly in greenhouse conditions, but these effects could not be quantified for inclusion in yield models for average field conditions.

- 4 million hectares of mineral soils and 3.1 million acres of organic soils would become arable in the northern prairies under the GFDL climate change scenarios, but the land would be suitable only for low value forages.

INTRODUCTION

Agricultural sensitivities to climatic variability and change are most readily observed in areas of geographical or economic marginality, where returns from production just exceed costs, risks and uncertainty are high,

and/or cropping options are few. Because of the greater sensitivity in these areas, several of the major climate impact assessment studies have concentrated on marginal agricultural areas. One of these study areas, the Canadian prairies, is of particular interest because it is considered marginal both in terms of its aridity (particularly Saskatchewan and southern Alberta) and high latitude location. This study focusses on climatic impacts on the agricultural sectors of all three prairie provinces. For this analysis only the climate is varied; that is, changes in the agricultural and related economy occur as a sole result of climatic changes.

OBJECTIVES

The objective of this study is to simulate the prairie agricultural impacts of climate change attributable to doubled atmospheric carbon dioxide (CO_2) concentrations. The analysis is an extension of earlier research concerning the economic effects of prolonged drought and of two climate change scenarios generated from independent general circulation model (GCM) experiments using the GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) and GISS (Goddard Institute for Space Studies) models, respectively (Hengeveld and Street). In this phase of the research a trigonometric distribution of the GCMs' monthly average temperature changes to daily changes was compared to earlier flat distributions.[1] The trigonometric distributions (called Scenarios GFDL2 and GISS2) were designed to reflect historic daily distributions of monthly mean temperatures (Brooks).

METHODS

Data. The temperature and precipitation changes for 2 x CO_2 were provided by Environment Canada's Atmospheric Environment Service (AES) based on GCM experiments undertaken using the GFDL and GISS models. For the GFDL Scenarios, 4 x CO_2 outputs were divided by two to obtain temperature and precipitation changes for grid points spaced 4.4 degrees latitude by 7.5 degrees longitude. For the GISS Scenarios, 2 x CO_2 outputs were run for a network of grid points spaced 8 degrees latitude by 10 degrees longitude, with interpolations made by AES to double the grid density. AES compared these results to results for experiments with 1 x CO_2 and provided the temperature changes (in °C) and precipitation changes (in % of normal) for each grid point (see Williams, et al.).

Historic weather data were also obtained from AES for 1961-1985 for all available prairie wether and climate stations. These data were used as both the historic normal (baseline) and the base on which scenario climate changes are imposed.

---

[1] GCMs can be used to generate daily temperatures, but at considerable expense.

Field level yield data, crop varieties, seedling dates, and fertilization rates were obtained from the three provincial crop insurance agencies and Statistics Canada. Economic data used in the various models were obtained from the provincial departments of agriculture and Statistics Canada. The input-output and moisture budget models are from Agriculture Canada (Kulshrestha and Yap, and Baier, et al., respectively).

Assumptions. Because the analysis represents a simulation approach to impact analysis, many critical assumptions are made. First, it is assumed that the long-term climatic changes occur in the current (1980s) economic, social, and technological environment. While this assumption is known to be false (although the precise timing of the doubling of CO_2 is not known), it is likely more difficult to forecast economic, social, and technological changes than climatic changes, particularly when the time frame is 40 to 100 years. If every variable in the model system were forecasted, it would be impossible to validate the results and difficult to interpret them.

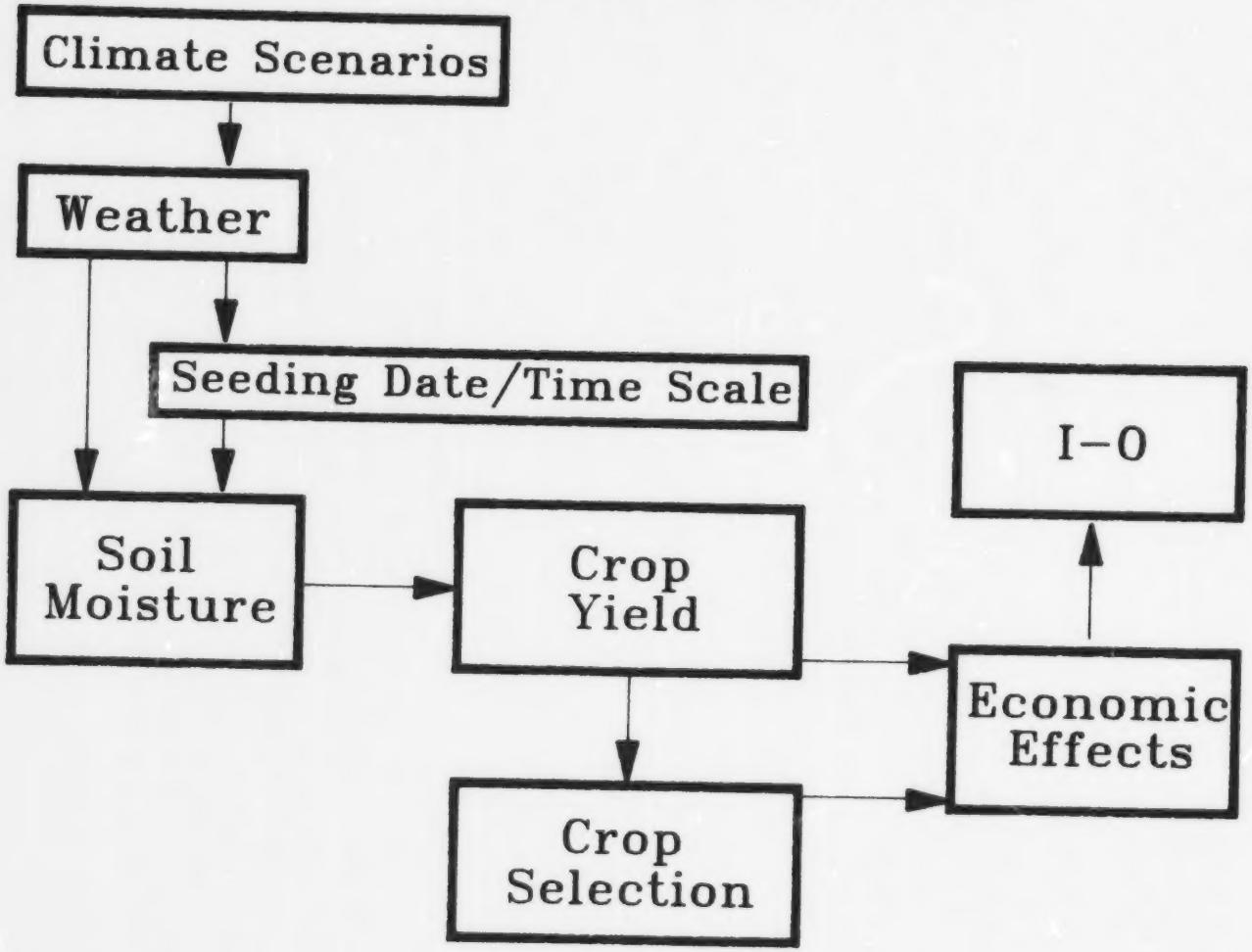
Second, it is assumed that historic weather variability from 1961 to 1985 reflects future variability. This assumption is necessary because the GCM data included only long-term average temperatures and precipitation and because historic weather data commencing in 1961 are the most consistent and readily available. This historic period included a number of droughty years (e.g., 1961, 1981) and a number of very wet years, but the frequencies and magnitudes of these events may not represent future trends.

Only the climatic effects of doubled CO_2 were included in the simulation. Increased CO_2 concentrations are also know to increase a crop's water use efficiency under ideal conditions. However, efficiency increases under average field conditions are uncertain and could not be quantified for inclusion in the model.

Models. A series of models was developed to simulate economic responses to weather. The models are primarily deterministic and the linkages among models undirectional (see Figure 1). The model series begins with the weather models, which translate the monthly long-term average of the climate change scenarios into daily temperatures and moistures at the numerous prairie weather stations. The historic, daily weather events for 1961 to 1985 provide the basis for all scenarios; for example daily temperatures and precipitation changes for scenario A are imposed on the daily historic weather for 1961 to 1985. That is, each scenario provides 25 annual solutions, one for each historic base year. Only the averages of these numerous annual solutions are reported in the results below.

Next, a seeding date algorithm is used to establish the planting response to the new weather regime, with seeding normally occurring earlier under climatic warming due to reduced frost risk. Annual seeding date changes ranged from more than two week advances to one week delays, the latter occurring in conditions where increased precipitation prevented field access.

FIGURE 1. Model Flows



Based on daily weather data and simulated seeding dates, biometeorological time scales (BMTS) were developed. These scales were used to calculate a crop's daily progress toward maturity under various weather conditions. While earlier seeding does not necessarily result in correspondingly earlier harvests (due to short daylight hours during the early spring), crops also mature earlier under the changed climate.

Results from the time scale model using calculated seeding and growth stage dates are then used in the Versatile Soil Moisture Budget (VSMB) model (Baier, et al.) to estimate soil moisture stresses by crop, seedbed (stubble, fallow, and reduced tillage stubble), crop growth stage, soil texture (holding 125-150, 200-225, or greater than 280 mm. of available moisture), location, and weather year. The VSMB model, obtained from Agriculture Canada for each prairie crop reporting district (CRD), estimates soil moisture as a function of potential evapotranspiration, crop rooting pattern, available soil moisture, and soil moisture release characteristics. The model operates continuously (daily) throughout the year, taking into account precipitation and runoff as well as snow accumulation and snow melt.

Moisture shortfalls are defined in terms of the difference between available moisture and required moisture for each crop for each defined crop growth stage. Aggregate soil moisture deficits for each crop growth stage in each CRD is calculated by taking weighted average of deficits on the various soil textures, based on the proportions of each texture in each CRD.

Soil moisture deficits represent only one of the many factors which influence crop yields. Other factors include fertilizer use, extreme weather events such as frosts and floods, pest problems, variety selection, etc. The crop yield models quantify most of these relationships via regression equations, expressed in translog functional form. The translog variation on the moisture stress variables allows yields to both increase (over an extremely limited range) and decrease with increases in soil moisture, depending on the actual level of moisture.

Yield equations have been estimated for 20 crop subdistricts and five major crops (wheat, oats, barley canola, flax) in Saskatchewan, for 12 CRDS and 12 major crops (the five from Saskatchewan plus winter wheat, rye, grain and silage corn, sunflowers, tame hay, and native pasture, as well as some grains under reduced tillage techniques) in Manitoba, and for eight subdistricts and grains in Alberta. Separate equations were developed for stubble and fallow seedbeds. Coefficients for the technology variables (fertilizer use and variety selection) are used to develop yield predictions under historic weather but current technology (Figure 2).

All of the yield models show statistically significant yield responses to moisture. Under the GFDL Scenarios crop yields in Saskatchewan and Manitoba increase significantly over "baseline" simulated yields in response to decreased moisture stress (Table 1). (The GFDL GCM experiments generated increased precipitation in these areas.) In Manitoba, for instance, spring wheat yields increase an average of 4 to 15 percent (averaged over the base

Figure 2. Stubble Seeded Spring Wheat Yields in Manitoba CRD 1

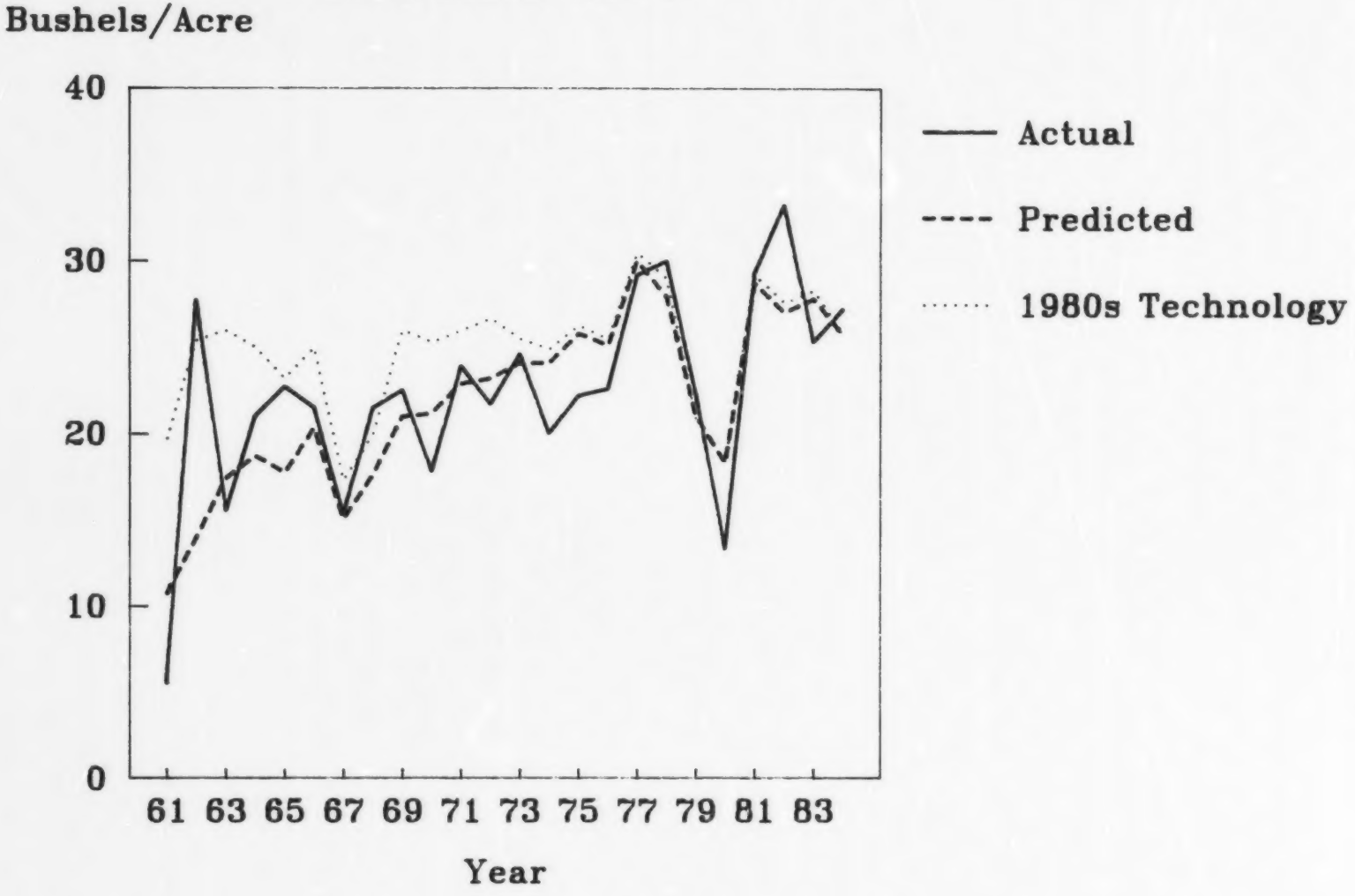


TABLE 1

Change in Crop Yields by Scenario

Provinces	GFDL		GISS	
	Flat[a]	Trigonometric (GFDL2)[a]	Flat[a]	Trigonometric (GISS2)[a]
Manitoba	increase all crops	increase all crops	decrease all crops except wheat	increase all crops
Saskatchewan	increase wheat	increase all crops	decrease all crops except wheat	increase wheat
Alberta	insigificant changes	decrease all crops except barley	insignificant changes	increase all crops

[a] Distribution refers to daily distribution of monthly mean temperatures.

years, but varying by CRD) under the flat daily distribution of GFDL temperatures; in Saskatchewan wheat yields increase from 4 to 28 percent. In Alberta, however, yields decrease under GFDL conditions.

With GISS Scenario climate, on the other hand, changes in average yields (relative to the baseline) vary more with the daily distribution method; Manitoba and Saskatchewan show consistent (if small) yield losses for all crops but wheat under the flat distribution and increased yields under the trigonometric distribution.

The predicted yields for each scenario are then used to determine economic impacts of climate change in each province. In the case of Mantioba the yields are entered into a linear programming (LP) model which uses the expected yields to adjust CRD cropping patterns to maximize net crop revenues, given physical, biological, and economic constraints on the sector. The Manitoba crop revenues, expenditures, and farm household incomes simulated by the LP model are then used as inputs to an Input-Output (I-O) model of the nonagricultural sectors of the Manitoba economy, thereby determining scenario effects on agriculturally linked sectors of the economy.

For Alberta and Saskatchewan economic impacts on the agricultural sector were extrapolated directly from summations of the yield effects multiplied times historic average acreages and 1985 prices. I-O models for these provinces, provided by PFRA, were used to determine impacts on nonagricultural sectors.

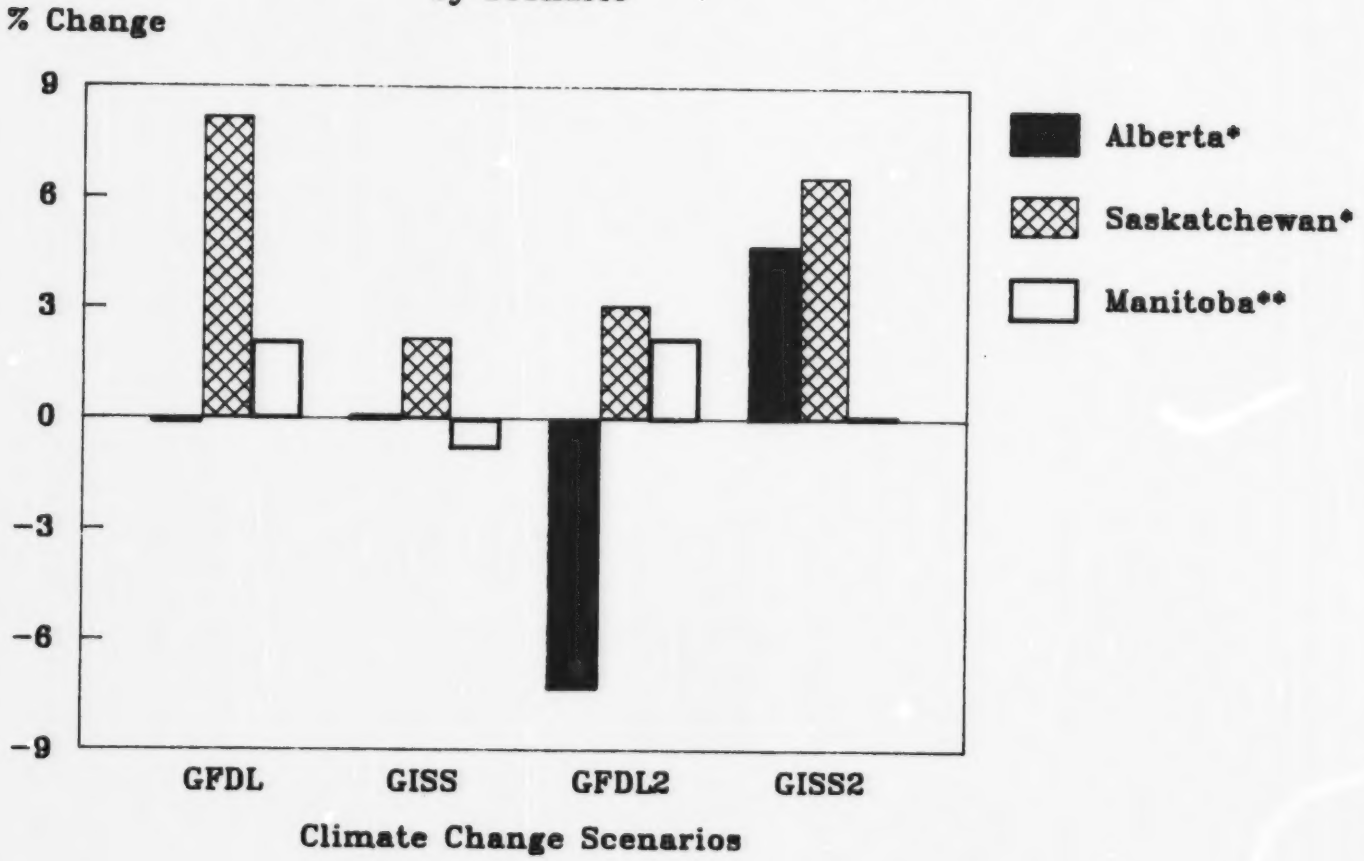
ECONOMIC RESULTS

Agriculture. The patterns of results vary so dramatically across crops, regions, baseline years and scenarios that generalizations become difficult. While temperatures rise under all climatic change scenarios, in some prairies regions the increases are small during the growing season (e.g., .8°C in June and .4°C in July for GFDL in central and southern Saskatchewan). In such areas slight increases in precipitation can offset increases in evapotranspiration, or earlier seeding (due to the 6.4°C increase in April in the same scenario and region) can result in a new crop growth time scale (relative to historic patterns) and enhanced production volumes. The increases in production of some crops in these regions are often offset by decreases in other crops and regions (or vice versa), resulting in reduced province-wide effects, illustrated in Figure 3.

Therefore, most of the estimated economic impacts of climate change are small; provincial crop revenue gains or losses generally range from 1 to 7 percent. The greatest impacts stem from the direct extrapolation models and include a 7 percent revenue decrease under the GFDL2 Scenario A2 in Alberta, 5 to 7 percent increases under GISS2 in Alberta and Saskatchewan, and an 8 percent increase under GFDL conditions in Saskatchewan.

Other Sectors. Economic effects on other sectors of the provincial economies (as modelled in I-O models) are related to changes in the farm

Figure 3. Percentage Change in Crop Receipts by Scenario



* Wheat, barley, and canola

** All crops

sectors' expenditures for farm inputs and consumer goods and services; while on-farm expenditures remain fairly constant across climatic scenarios, discretionary expenditures of households and enterprises (e.g., farm equipment) change in direct response to changing cash flow. Scenarios that produce significant negative (positive) effects on agriculture will produce negative (positive) spin-offs to other sectors of lesser magnitudes than the declines (increases) in farm incomes.

NORTHERN SOILS

While considerable area is available for farming north of the currently arable zones of the prairies, much of the land is only marginally suitable for farming even under the increased temperatures of the GISS and GFDL Scenarios. While 3.1 million hectares of organic soils would become available under the GFDL Scenarios, the forages that could be grown on these soils will not generate sufficient net returns to warrant production, much less development of new agricultural infrastructure, in the current (or even anticipated) economic environment. Similarly, much of the 4 million hectares of mineral soils would be suitable only for forage production.

CONCLUSIONS

The initial response to expectations of global warming is that agricultural patterns will change dramatically, and that the prairie regions could suffer substantial crop losses. However, the results reported here suggest otherwise; even with minor adjustments in seeding dates (primarily earlier due to reduced frost risk), crop selection and management techniques (the latter two factors examined only in the Manitoba models), the losses can be attenuated or avoided entirely. Although it is difficult to generalize the results presented here across scenarios, we can conclude that most of the economic impacts are small, since crop revenue changes generally range from 1 to 7 percent, and most of the results point to revenue increases. These results are consistent with a major study of the U.S. response by Wilks. Using daily weather results from GCM experiments for doubled CO_2 and a biological crop simulator similar to that used in this study, Wilks found that corn output actually increases with the increased temperatures due primarily to changed seeding dates allowing seeding of later maturing varieties.

The impacts of the greenhouse effect are generally the smallest in Manitoba. Manitoba is the least moisture deficient of the three provinces and thus can gain from increased temperatures without suffering substantial moisture stress. Furthermore, a wide array of cropping options exists for most areas of Manitoba. In Alberta the GFDL2 Scenario losses could be attenuated somewhat merely by shifting cropping patterns among the major crops (e.g., to more barley), but some net loss may still accrue because their cropping options are limited (and barley prices are currently low). Saskatchewan shows gains under all scenarios due to increased precipitation in the face of only minor temperature increases. If these precipitation increases did not occur (and the precipitation results from GCMs are much

less certain than temperature results; Schlesinger) Saskatchewan would suffer considerable crop losses (Williams, et al.).

This study has clarified the importance of more carefully defining the precise nature of the climatic changes under the greenhouse effect. The GISS and GFDL Scenarios both represent GCM experiments for doubled CO_2 concentrations and yet each produces distinct economic impacts. These impacts also vary substantially with differing distributions of the monthly mean temperatures across days. While the authors of this study attempted to define appropriate daily distributions, because these distributions are of critical importance in determining yield effects, it is recommended that climatic modelers direct their efforts to providing these distributions.

CAVEATS

Based on the results of this analysis, one would advise the prairie farm sector that the average effects on the sector will likely be small; the greatest risk is of more frequent crop failures due to drought, but, more information concerning effects of increased CO_2 on climatic variability is needed. However, the analysis may underestimate both negative and positive effects of scenario climate on yield in that the yield models suffer from the usual regression towards the mean (see example of goodness of fit in Figure 2). Furthermore, it should be noted that the results presented here depend on current economic/technological conditions, particularly relative prices. In instances in which a scenario results in production losses for some crops and increases for others, the prices and historic acreages determine whether the net effect is an increase or decrease in revenues.

REFERENCES

Baier, W., J.A. Dyer, and W.R. Sharp, 1979. The Versatile Soil Moisture Budget. Technical Bulletin 1987, Land Resource Research Institute, Agriculture Canada, Ottawa.

Brooks, C.E.P., 1943. "Interpolation Tables for Daily Values of Meteorological Elements." Quarterly Journal of Royal Meteorological Society 69(300).

Hengeveld, H.G. and R.B. Street, n.d. "Development of CO_2 Climate Change Scenarios for Canadian Regions." Mimeo. Canadian Climate Centre, Downsview, Ontario.

Kulshrestha, S.N., and M.T. Yap, 1985. The Prairie Regional Input-Output and Employment Model. PFRA, Regina.

Schlesinger, M.E., 1987. "Progress in Climate and Global Scale Dynamics: An Overview." Proceedings, Symposium on the Impact of Climate Variability and Change on the Canadian Prairies [Edmonton, Alberta, September 9-11].

Williams, G.D.V., R.A. Fautley, K.H. Jones, R.B. Stewart, and E.E. Wheaton. "Estimating the Effects of Climatic Change on Agriculture in Saskatchewan, Canada." in Parry, et al. (Editors). The Impact of Climatic Variations on Agriculture. Volume 1. Reidel, Dordrecht, The Netherlands.

Environnement Canada Environment Canada

SOMMAIRE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Répercussions du changement climatique sur l'agriculture dans les provinces des prairies

SCC 88-01

Canada

SOMMAIRE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

SCC 87-01 Programme canadien des incidences climatologiques

SCC 87-02 Conséquences de changement climatique sur l'agriculture en Ontario

SCC 87-03 Répercussions d'un changement de climat sur la navigation et la production d'électricité dans les Grands Lacs

SCC 87-04 Effets d'un hausse d'un mètre du niveau moyen de la mer a Saint-Jean (Nouveau-Brunswick) et au passage inférieur du Saint-Jean

SCC 88-01 Répercussions du changement climatique sur l'agriculture dans les provinces des prairies.

Environnement Canada Environment Canada

RÉPERCUSSIONS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'AGRICULTURE DANS LES PROVINCES DES PRAIRIES

Sommaire de rapports du département d'économie agricole

Towards a Socio-Economic Assessment of the Implications of Climate Change for Agriculture in Manitoba and the Prairie Provinces: Phases I and II
(mars 1986)
(en anglais seulement)

Socio-Economic Assessment of the Implications of Climate Change for Agriculture in the Prairie Provinces: Phase III
(mai 1987)
(en anglais seulement)

Rédigé pour la série
Sommaire du changement climatique
Service de l'environnement atmosphérique

par
Louise M. Arthur
Département d'économie agricole
Université du Manitoba

DÉNÉGATION DE RESPONSABILITÉ

La présente publication renferme le résumé des résultats d'un étude menée en vertu d'un contrat par l'université de Manitoba pour le Centre climatologique canadien. Les avis et opinions qui y sont exprimés sont ceux des auteurs. Ils n'expriment, ni ne reflètent nécessairement ceux du gouvernment du Canada ou de tout organisme de celui-ci.

Pour obtenir à titre gracieux des exemplaires de cette publication, écrire au :

Bureau du programme climatologique
Centre climatologique canadien
4905 Rue Dufferin
Downsview (Ontario)
M3H 5T4

Pour acheter des exemplaires des rapports au complet, écrire à :

Department of Agricultural Economics
University of Manitoba
Winnipeg, (Manitoba)
R3T 2N2

Publie avec l'autorisation du
ministre de l'Environnement

© Ministre des Approvisionnements
et Services Canada 1988

No de catalogue EN57-27/1988-01
ISBN 0-662-55621-6
ISSN 0835-3980

AVANT-PROPOS

L'atmosphère terrestre subit de grands changements dans sa composition à l'échelle mondiale. Les activités humaines, comme le déboisement, l'utilisation des combustibles fossiles et, même, les opérations agricoles ont nettement accru la quantité de gaz carbonique et d'autres "gaz de serre" de l'atmosphère. Il est de mieux en mieux établi du point de vue scientifique que l'accroissement de la concentration de ces gaz pourrait entraîner, au cours des prochaines décennies, une augmentation de la température moyenne mondiale supérieure à toute autre augmentation survenue depuis l'arrivée de l'homme sur terre (cf. conférence de Villach, Australie, octobre 1985). D'après les études, on pourrait s'attendre à un réchauffement mondial moyen de 1,5 à 4,5 °C; dans les régions arctiques, il est probable que ce réchauffement sera encore plus élevé.

Ces dernières années, on a de plus en plus pris conscience, à l'échelon international du fait que divers secteurs économiques sont tributaires des fluctuations climatiques et des répercussions du changement climatique à long terme. On appréhende la perte éventuelle de zones côtières due à la hausse mondiale prévue du niveau des mers, à la destruction des habitats d'innombrables espèces végétales et animales et à la perturbation de l'agriculture mondiale, pour ne citer que quelques sujets de préoccupation. Par la même occasion, le changement climatique offre éventuellement d'intéressantes possibilités économiques. Pour le Canada, celles-ci comprennent sans doute une prolongation de la saison de croissance et une navigation marchande active à longueur d'année sur les Grands Lacs. L'élément clef d'une bonne adaptation à ces changements sera notre aptitude à atténuer les effets négatifs et à tirer parti des avantages.

Ayant reconnu l'effet du climat et des fluctuations climatiques sur la société, le Canada a, en 1978, établi un Programme climatologique canadien pour intégrer les efforts de divers organismes fédéraux et provinciaux, ainsi que des universités et du secteur privé, dans le domaine de la climatologie. On a confié la responsabilité du programme au Service de l'environnement atmosphérique (SEA), d'Environnement Canada. Ce service est donc l'organisme responsable en la matière. Depuis 1984, un des éléments du programme se concentre sur les études de recherche destinées à évaluer et à déterminer les effets sociaux et économiques éventuels du réchauffement climatique auquel on s'attend suivant un scénario où la concentration de gaz carbonique doublerait. La plupart de ces études furent menées en vertu de contrats par des universités canadiennes.

Ces études et d'autres études réalisées au cours des dernières années ont clairement montré que l'accroissement des concentrations de "gaz de serre" peut bel et bien exercer des effets profonds sur notre milieu physique, mais il faut encore en considérer les résultats comme préliminaires. Les scientifiques s'entendent assez bien sur l'évolution du changement climatique à long terme, mais il existe de l'incertitude dans les estimations de l'ampleur et des échéances.

Il va de soi qu'il faut d'autres études pour fournir des renseignements de planification et d'orientation à tous les paliers d'administration et aux usagers du secteur privé. Ces études aideraient encore à établir les stratégies éventuelles d'atténuation et d'adaptation et répondraient au thème d'Environnement Canada : "Prévoir pour prévenir."

G.A. Sainte-Marie
Sous-ministre
Environnement Canada

PRÉFACE

Le Centre climatologique canadien (CCC) a financé plusieurs études touchant les effets éventuels, sur divers secteurs de l'économie canadienne, du réchauffement du climat prévu du fait de la concentration croissante des "gaz de serre" dans l'atmosphère. On a retenu le cas d'une quantité deux fois plus importante de CO_2.

Les projections des futures variables climatiques en vertu de ce scénario (concentration doublée de CO_2) sont adaptées de deux modèles américains de circulation générale, l'un mis au point par le Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) et l'autre par le Goddard Institute for Space Studies (GISS). Les chercheurs ont utilisé les prévisions de ces modèles informatiques ou d'autres variables dérivées comme données d'entrée de divers modèles socio-économiques. Grâce à ces outils, ainsi qu'à l'analyse des anomalies climatiques du passé et de leurs effets, les chercheurs déterminent certaines des répercussions de première importance d'une augmentation de la concentration de CO_2 et du changement climatique.

Le premier numéro du Sommaire du changement climatique indique les principales études de prospective socio-économique entreprises depuis 1984. La liste des titres antérieurs de la série figure au verso de la première page de couverture. Le présent numéro donne les résultats sommaires de trois phases d'une étude destinée à déterminer l'effet probable du changement climatique sur l'agriculture des provinces des Prairies.

Cette étude conclut que les effets du changement climatique, dans des scénarios de doublement du CO_2, ne seront probablement pas spectaculaires sur l'agriculture des Prairies pour les températures et les précipitations moyennes prévues par les modèles. Je dois vous prévenir qu'une autre étude, dont on rendra compte dans un numéro ultérieur du Sommaire du changement climatique, examine les effets de la variabilité. Cette étude, "The Effects of Climate Change on Agriculture in Saskatchewan, Canada", conclut que, sous le nouveau régime climatique, il y aura au cours de toute période de 20 à 30 années d'importants effets nocifs, attribuables en grande partie à une fréquence et à une gravité accrues des sécheresses.

J.A.W. McCulloch
Directeur général
Centre climatologique canadien

RÉPERCUSSIONS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'AGRICULTURE DANS LES PROVINCES DES PRAIRIES

POINTS IMPORTANTS DE L'ÉTUDE

- Les répercussions d'un réchauffement climatique dû au doublement du CO_2 sur le rendement des cultures varient de façon marquée selon les scénarios du changement climatique (scénarios établis à partir des expériences du GISS et du GFDL). Les résultats obtenus pour le rendement varient en fonction de la méthode utilisée pour distribuer sur les jours des mois les augmentations de la température moyenne mensuelle tirées des scénarios. On a expérimenté deux types de distributions, la distribution constante et la distribution trigonométrique.

- Les effets sur le rendement des cultures varie aussi de façon marquée selon les cultures et les régions des Prairies (tableau 1) principalement parce que les changements des précipitations, qui doivent accompagner le réchauffement climatique, varient : il s'agit d'augmentations notables ou de diminutions selon les régions et selon les mois.

- Pour le Manitoba, le changement des revenus agricoles évalué selon les techniques d'optimisation représente un faible gain (inférieur à 3 %), sauf dans le cas du scénario du GISS utilisant les distributions journalières constantes qui donne des pertes encore plus faibles que les gains susmentionnés (figure 3).

- Les modifications que subissent les revenus agricoles pour la Saskatchewan et l'Alberta sont extrapolées directement à partir des variations des rendements et à partir des données historiques sur les superficies ensemencées et sur les prix. Ces modifications sont plus sensibles au changement climatique que dans le cas du Manitoba. Encore une fois, un seul scénario présente des pertes appréciables, soit 7 %, selon la distribution trigonométrique des résultats du GFDL (figure 3).

- Pour la plupart des scénarios, les effets sur les revenus agricoles sont donc faibles et, par conséquent, les effets sur les revenus dans les autres secteurs ayant des liens avec l'agriculture sont négligeables; ils vont dans le même sens mais sont plus faibles en pourcentage.

- La littérature qui traite des changements de la variabilité climatique en fonction d'un doublement du CO_2 ne présente pas de consensus sur la question. On doit toutefois noter qu'une augmentation des températures appliquée au climat actuel pourrait entrainer une fréquence relativement élevée des sécheresses.

- On a montré que l'augmentation du CO_2 a des effets directs sur l'efficacité de l'utilisation de l'eau par les végétaux, particulièrement sous serre, mais l'on n'a pas pu quantifier ces effets pour les introduire dans les modèles de rendement appliqués aux cultures de plein champ.

- Selon le scénario du changement climatique du GFDL, 4 millions d'hectares de sols minéraux et 3,1 millions d'hectares de sols organiques pourraient être cultivés dans le nord des Prairies, mais ces terres arables ne conviendraient qu'aux cultures fouragères de faible rapport.

INTRODUCTION

La sensibilité de l'agriculture à la variabilité et au changement climatiques s'observe le plus facilement dans les régions géographiques ou économiques marginales, où les rapports de production ne dépassent qu'à peine les coûts, où les risques et les incertitudes sont élevés et où les options de culture sont peu nombreuses. En raison de cette sensibilité accrue, la plupart des grandes études d'évaluation des répercussions climatiques portent sur ces régions agricoles marginales. L'une de ces régions d'étude, les Prairies canadiennes, présente un intérêt particulier puisque l'on considère que la région est marginale à la fois en raison de son aridité (surtout en Saskatchewan et dans le sud de l'Alberta) et de sa position à des latitudes élevées. La présente étude porte sur les répercussions climatiques que doivent subir les secteurs agricoles des trois provinces des Prairies. Pour le besoin de l'analyse, seul le climat varie, c'est-à-dire que les changements de l'économie agricole et des économies connexes proviennent uniquement du changement climatique.

OBJECTIFS

L'étude a pour objectif la simulation des répercussions sur le secteur agricole des Prairies du changement climatique attribuable au doublement du gaz carbonique (CO_2). L'analyse vient compléter une recherche antérieure qui portait sur les effets économiques d'une sécheresse prolongée et de deux scénarios de changement climatique produits d'expériences indépendantes sur les modèles de la circulation générale (GCM) du GFDL et du GISS (Hengeveld et Street). Dans ce complément de la recherche, on compare la distribution trigonométrique des changements de la température moyenne mensuelle des GCM sur les changements quotidiens aux distributions constantes utilisées précédemment[1]. On a établi les distributions trigonométriques (appelées scénarios GFDL2 et GISS2) pour représenter les distributions quotidiennes historiques des températures moyennes mensuelles (Brooks).

---

[1] On peut utiliser les GCM pour obtenir les températures quotidiennes mais cela à grands frais.

MÉTHODES

Données. Les modifications de la température et des précipitations pour le doublement du CO_2 ont été fournies par le Service de l'environnement atmosphérique (SEA) et sont fondées sur les expériences menées sur les GCM du GFDL et du GISS. Pour les scénarios du GFDL, les sorties obtenues pour 4 x CO_2 ont été divisés par deux pour donner les changements des températures et des précipitations aux points de grille espacés de 4,4° en latitude et de 7,5° en longitude. Pour les scénarios du GISS, les sorties obtenues à partir de 2 x CO_2 correspondent à des points de grille espacés de 8° en latitude et de 10° en longitude, réseau pour lequel le SEA a doublé la densité par interpolation. Le SEA a comparé ces résultats aux résultats obtenus pour les expériences fondées sur 1 x CO_2 et a fourni les changements des températures (en °C) et ceux des précipitations (en pourcentage de la normale) pour chaque point de grille (voir Williams, et autres).

C'est aussi le SEA qui a fourni les données météorologiques historiques de 1961 à 1985 pour toutes les stations météorologiques et climatologiques des Prairies. Ces données ont été utilisées à la fois comme normales historiques (données de base) et comme base sur laquelle on applique les changements climatiques des scénarios.

Les données sur le rendement des champs, sur les variétés de cultures, sur les dates d'ensemencement et sur les taux de fertilisation ont été fournies par les trois organismes provinciaux d'assurance-récolte et par Statistique Canada. Les données économiques utilisées dans les divers modèles ont été fournies par les ministères provinciaux de l'Agriculture et par Statistique Canada. Les modèles d'entrées-sorties et du bilan hydrique sont ceux d'Agriculture Canada (Kulshrestha et Yap, et Baier, et autres, respectivement).

Hypothèses. Comme cette analyse représente une méthode de simulation pour la déduction des répercussions, on pose plusieurs hypothèses essentielles. Tout d'abord, on suppose que les changements climatiques à long terme se produisent dans le monde économique, social et technologique actuel (années 1980). Cette hypothèse ne représente bien sûr pas la réalité (nous ne connaissons toutefois pas le moment précis où l'on atteindra le doublement du CO_2) mais il est probablement plus difficile de prévoir les changements économiques, sociaux et techniques que de prévoir les changements climatiques, particulièrement sur une durée de 40 à 100 ans. Si le système modélisé prévoyait toutes les variables, il serait impossible d'en valider les résultats et difficile de les interpréter.

Nous supposons ensuite que la variabilité météorologique historique de 1961 à 1985 correspond à la variabilité future. Cette hypothèse est nécessaire puisque les données de GCM ne comprennent que les températures et les précipitations moyennes sur longue durée et puisque les données météorologiques historiques relevées depuis 1961 sont les plus uniformes et les plus facilement accessibles. Cette période historique comprend plusieurs années de sécheresse (ex. 1961, 1981) et plusieurs années très humides, mais la fréquence et l'ampleur de ces phénomènes peut ne pas représenter les tendances futures.

La simulation ne comprend que les effets climatiques obtenus pour un doublement du CO_2. Des concentrations accrues de CO_2 entrainent, on le sait, une augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau par les végétaux dans des conditions idéales. Toutefois, ces augmentations d'efficacité dans les conditions moyennes de plein champ ne constituent pas une certitude et il a été impossible de les quantifier pour les introduire dans les modèles.

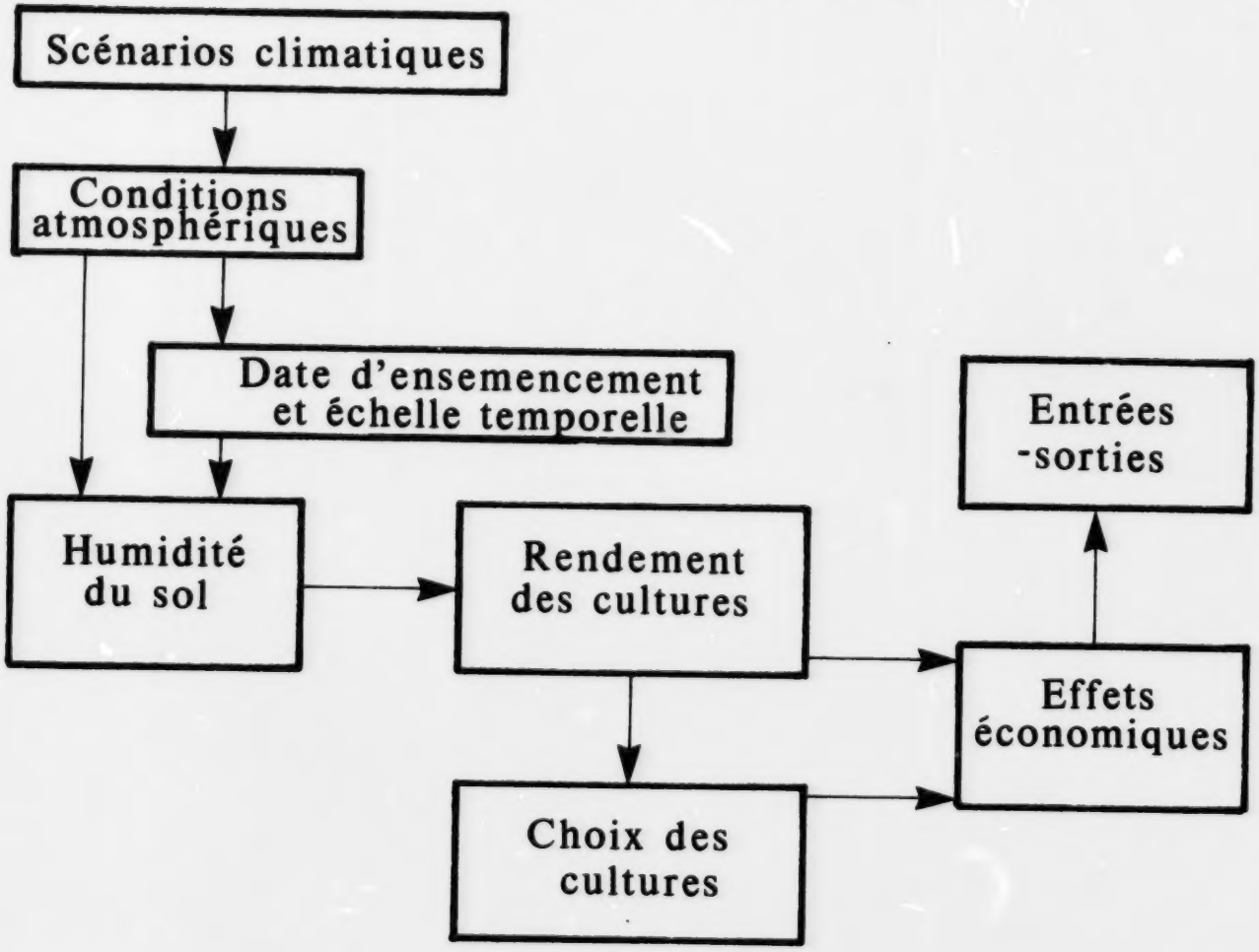
Modèles. On a créé une série de modèles afin de simuler les réactions économiques aux conditions météorologiques. Ce sont principalement des modèles déterministes à enchainement unidirectionnel (voir figure 1). La série commence par les modèles météorologiques qui transforment les moyennes mensuelles de longue durée des scénarios du changement climatique en données quotidiennes de la température et de l'humidité aux nombreuses stations météorologiques des Prairies. Tous les scénarios se fondent sur les phénomènes météorologiques quotidiens historiques de 1961 à 1985. Par exemple, les variations quotidiennes de la température et des précipitations pour le scénario A sont appliquées aux données météorologiques quotidiennes historiques de 1961 à 1985. Ainsi, chaque scénario fournit-il 25 solutions annuelles, une pour chaque année de la base historique. Seules les moyennes de ces solutions annuelles figurent dans les résultats indiqués plus loin.

On utilise ensuite un algorithme des dates d'ensemencement pour établir les fluctuations entrainées par le nouveau régime météorologique, à savoir un ensemencement en général plus précoce sous des conditions de réchauffement climatique puisque les risques de gel sont réduits. L'écart des variations des dates d'ensemencement va d'une avance de deux semaines à un retard d'une semaine, retard que cause une augmentation des précipitations qui empêche l'accès aux champs.

A partir des données météorologiques quotidiennes et des dates d'ensemencement simulées, on a établi des échelles temporelles biométéorologiques (BMTS). Ces échelles sont utilisées pour calculer la croissance végétale quotidienne jusqu'à maturité sous diverses conditions météorologiques. Un ensemencement plus précoce n'entraine pas nécessairement une avance correspondante pour les moissons (les journées sont courtes au début de printemps), mais les cultures atteignent plus rapidement le stade de maturité suivant le climat modifié.

On utilise ensuite les résultats du modèle des échelles temporelles, appliqué aux dates calculées de l'ensemencement et des stades phénologiques, dans le modèle du bilan adaptable de l'humidité du sol (VSMB) (Baier et autres), et ce pour évaluer le stress hydrique du sol par culture, par lit de semis (chaume, jachère et chaume de labour réduit), par stade phénologique, par texture du sol (teneurs en humidité : 125-150, 200-225, ou plus de 280 mm), par emplacement et enfin par année météorologique. Agricuture Canada a fourni pour chaque division de relevés des cultures dans les Prairies (CRD) les résultats du modèle VSMB, à savoir l'humidité du sol évaluée en fonction de : l'évapotranspiration potentielle, les caractéristiques de l'enracinement, l'humidité du sol disponible et les caractéristiques de la déperdition de l'humidité du sol. Le modèle s'applique pour tous les jours de l'année et tient compte aussi bien des précipitations et du ruissellement que de l'accumulation et de la fonte des neiges.

Figure 1. Enchaînement des modèles



L'insuffisance d'humidité correspond à la différence entre l'humidité disponible et l'humidité dont a besoin chaque culture à chaque stade phénologique établi. Les déficits hydriques de tous les sols pour chaque stade phénologique dans chaque CRD correspondent à la moyenne pondérée des déficits des diverses textures du sol, la pondération étant fondée sur les proportions de chaque texture dans chaque CRD.

Les déficits hydriques du sol ne constituent que l'un des nombreux facteurs qui influent sur les rendements des cultures. Citons comme autres facteurs l'utilisation d'engrais, les phénomènes météorologiques extrêmes comme le gel et les inondations, les problèmes causés par les parasites, le choix des variétés de culture, etc. Les modèles de rendement des cultures quantifient la plupart de ces relations par des équations de régression, exprimées sous forme de fonctions logarithmiques transcendentales. Grâce à la variation logarithmique transcendentale appliquée aux variables du stress hydrique, les rendements peuvent soit augmenter (plage extrêmement limitée) soit diminuer en fonction des augmentations de l'humidité du sol, selon le degré réel d'humidité.

On a évalué les équations du rendement pour 20 divisions agricoles secondaires et cinq grandes cultures (blé, avoine, orge, colza canol, lin) en Saskatchewan, pour 12 CRD et 12 grandes cultures (les cinq utilisées pour la Saskatchewan plus le blé d'hiver, le seigle, le maïs-grain et le maïs-fourage, le tournesol, le foin cultivé, et les pâturages naturels, ainsi que certaines céréales selon des techniques de labour réduit) au Manitoba et pour huit divisions secondaires et huit céréales en Alberta. On a établi des équations distinctes pour les lits de semis, chaume ou jachère. Les coefficients des variables technologiques (utilisation d'engrais et choix des variétés) ont été utilisés pour établir les prévisions du rendement suivant les conditions météorologiques historiques mais l'environnement technologique actuel (figure 2).

Tous les modèles de rendement présentent des réactions significatives du point de vue statistique aux variations de l'humidité. Selon les scénarios du GFDL, le rendement des cultures en Saskatchewan et au Manitoba augmente de façon marquée par rapport au rendement de base simulé en réaction à la diminution du stress hydrique (tableau 1). (Les expériences sur le GCM du GFDL produisent une augmentation des précipitations dans ces régions). Au Manitoba, par exemple, on observe une augmentation du rendement du blé de printemps de 4 à 15 % en moyenne (moyenne sur toutes les années des données de base mais qui varie selon les CRD) pour une distribution quotidienne constante des températures du GFDL. En Saskatchewan, le rendement du blé augmente de 4 à 28 % tandis qu'en Alberta, le rendement diminue, suivant les conditions présentées par le GFDL.

Selon les conditions climatiques des scénarios du GISS, les modifications que subit le rendement moyen (par rapport aux données de base) présentent une plus grande variation avec la méthode de distribution quotidienne; le Manitoba et la Saskatchewan présentent des pertes de rendement systématiques (même si elles sont faibles) pour toutes les cultures à l'exception du blé suivant la distribution constante et une augmentation des rendements suivant la distribution trigonométrique.

Figure 2. Rendement du blé de printemps ensemencé sur chaume le CRD 1 du Manitoba

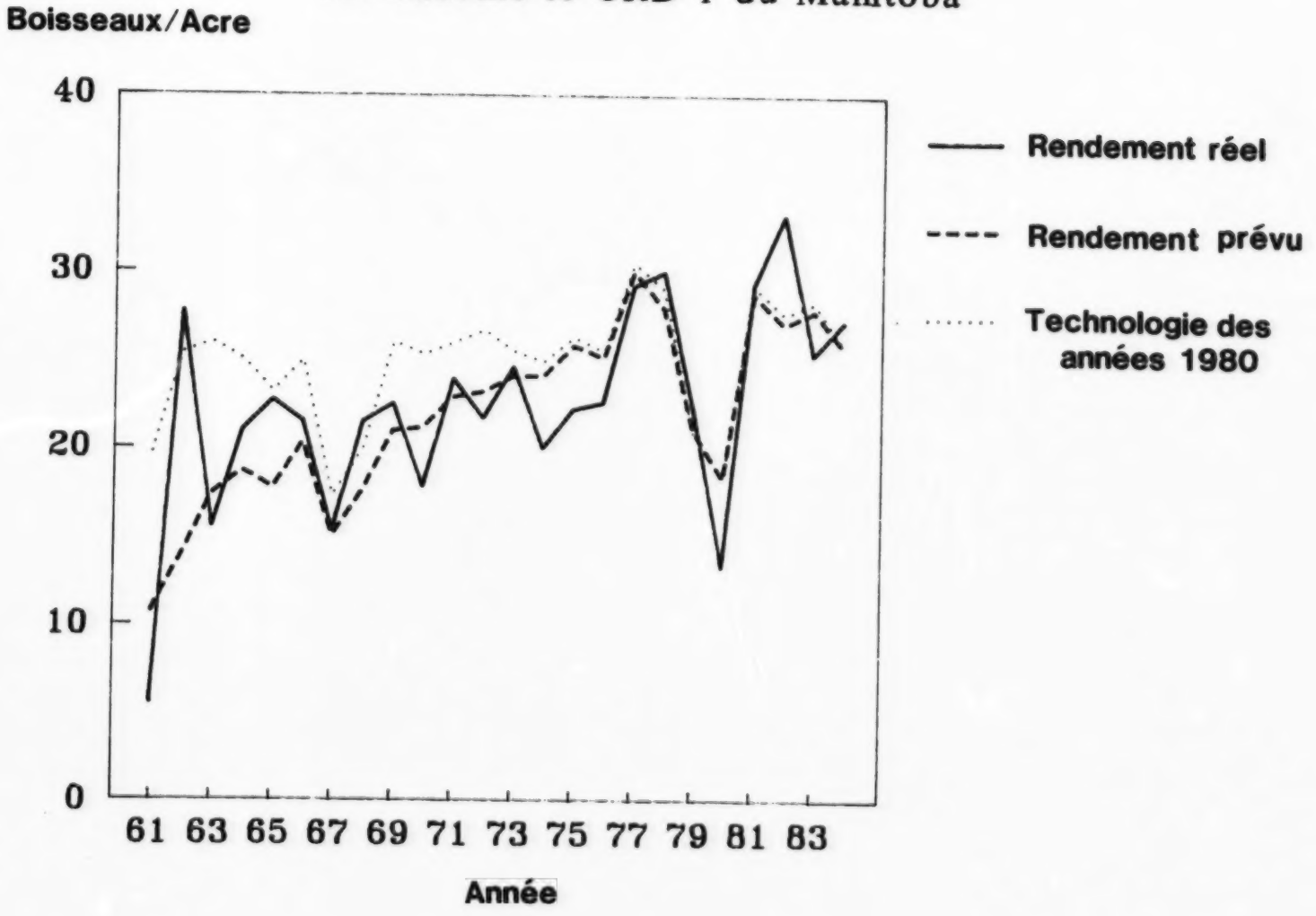


TABLEAU 1

Variations du rendement des cultures selon les scénarios

Province	GFDL		GISS	
	Constante[a]	Trigonométrique (GFDL2)[2]	Constante[a]	Trigonométrique (GISS2)[a]
Manitoba	augmentation pour toutes les cultures	augmentation pour toutes les cultures	diminution pour toutes les cultures sauf le blé	augmentation pour toutes les cultures
Saskatchewan	augmentation pour le blé	augmentation pour toutes les cultures	diminution pour toutes les cultures sauf le blé	augmentation pour toutes les cultures
Alberta	variations négligeables	diminution pour toutes les cultures sauf l'orge	variations négligeables	augmentation pour toutes les cultures

[a] Il s'agit de la distribution quotidienne de la température moyenne mensuelle.

On utilise ensuite les rendements prévus pour chaque scénario pour déterminer les répercussions économiques du changement climatique dans chaque province. Dans le cas du Manitoba, les rendements prévus sont introduits dans un modèle de programmation linéaire (LP) qui utilise lesdits rendements pour ajuster l'assolement des CRD afin de maximiser les revenus agricoles nets, et ce, en fonction des contraintes physiques, biologiques et économiques du secteur. Les revenus agricoles, les dépenses et les revenus des ménages agricoles obtenus grâce au modèle LP sont ensuite utilisés comme entrées dans le modèle d'entrées-sorties des secteurs non agricoles de l'économie du Manitoba, ce qui permet de déterminer les effets de chaque scénario sur les secteurs de l'économie liés à l'agriculture.

Dans le cas de l'Alberta et de la Saskatchewan, les répercussions économiques sur le secteur agricole sont extrapolées directement à partir des sommes des effets liés aux rendements, sommes que l'on multiplie par la moyenne historique des superficies ensemencées et par les prix de 1985. Les modèles d'entrées-sorties pour ces provinces, fournis par l'ARAP, sont également utilisés pour déterminer les répercussions sur les secteurs non agricoles.

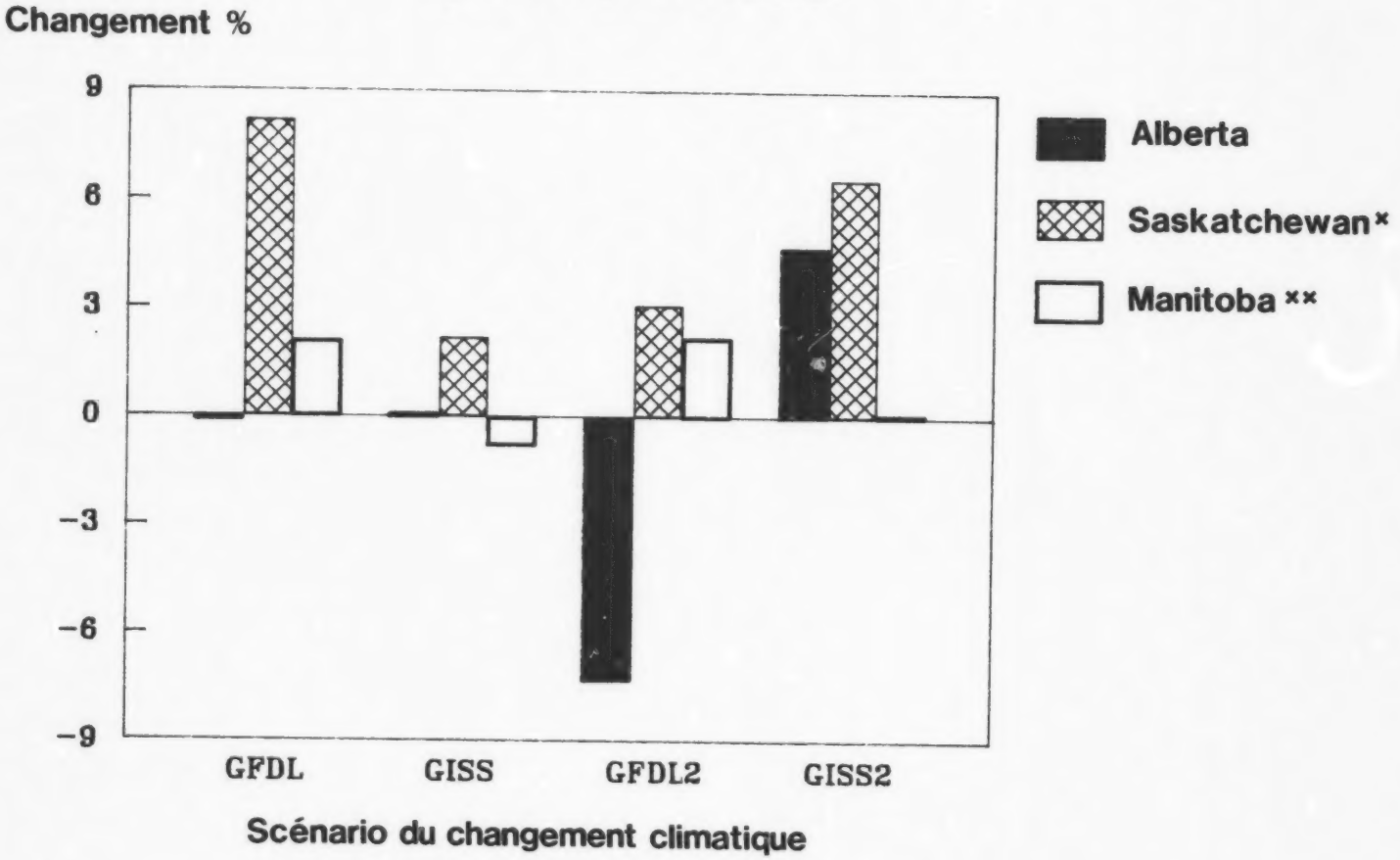
RÉSULTATS ÉCONOMIQUES

Agriculture. Les structures des résultats varient tellement selon les cultures, les régions, les années de données de base et les scénarios qu'il est difficile de généraliser. Bien que les températures augmentent selon tous les scénarios du changement climatique, les augmentations sont faibles au cours de la saison de croissance dans certaines régions des Prairies (exemple, 0,8°C en juin et 0,4°C en juillet pour le GFDL dans le centre et le sud de la Saskatchewan). Dans de telles régions, de faibles augmentations des précipitations peuvent contrebalancer les augmentations de l'évapotranspiration ou encore un ensemencement précoce (puisque l'on observe une augmentation de 6,4°C en avril pour le même scénario et la même région) peut donner une nouvelle échelle temporelle de la croissance des cultures (pa rapport aux configurations historiques) et des volumes accrus de production. Les augmentations de la production de certaines cultures dans ces régions sont souvent contrebalancées par des diminutions pour d'autres cultures dans d'autres régions (ou vice versa), ce qui entraîne des effets moindres à l'échelle de la province, comme l'illustre la figure 3.

Par conséquent, la plus grande partie des répercussions économiques évaluées pour le changement climatique sont faibles; les gains ou les pertes de revenus agricoles dans chaque province varient dans l'ensemble entre 1 et 7 %.

Les plus grandes répercussions sont issues des modèles d'extrapolation directe et fournissent une diminution des revenus de 7 % selon le scénario GFDL2 pour l'Alberta, une augmentation de 5 à 7 % selon GISS2 dans l'Alberta et la Saskatchewan et une augmentation de 8 % selon les conditions du GFDL dans la Saskatchewan.

Figure 3. Variation en pourcentage du revenu agricole par scénario



* Blé, orge et colza canola

** Toutes les cultures

Autres secteurs. Les effets économiques sur les autres secteurs de l'économie des provinces (obtenus par les modèles d'entrées-sorties) sont liés aux variations, dans le secteur agricole, des dépenses d'exploitation et des dépenses en biens et services de consommation. Alors que les dépenses pour la marche de l'exploitation demeurent relativement constantes pour tous les scénarios climatiques, les dépenses discrétionnaires des ménages et des entreprises (exemple : équipement agricole) varient directement en fonction des variations de l'encaisse. Les scénarios qui produisent des effets négatifs (positifs) notables sur l'agriculture présentent des retombées négatives (positives) sur les autres secteurs, de moindre amplitude toutefois que les baisses (hausses) des revenus agricoles.

TERRES SEPTENTRIONALES

Les Prairies disposent de vastes zones disponibles pour l'agriculture au nord des zones cultivées à l'heure actuelle. Toutefois, la plus grande partie de ces terres ne conviennent que marginalement à l'agriculture même pour les scénarios d'augmentation des températures du GISS et du GFDL. Selon les scénarios du GFDL, 3,1 millions d'hectares de sols organiques pourraient être utilisés par l'agriculture, mais les cultures fouragères ne seraient pas d'assez bon rapport pour en justifier l'ensemencement et encore moins pour justifier l'aménagement d'une nouvelle infrastructure agricole, et ce, dans le milieu économique actuel (ou même dans le milieu anticipé). Il en est de même pour une grande partie des 4 millions d'hectares de sols minéraux qui ne conviendraient qu'à la production de fourrage.

CONCLUSIONS

La prévision d'un réchauffement mondial, nous porterait tout d'abord à envisager un changement radical des configurations agricoles et à prévoir des pertes agricoles substantielles pour les régions des Prairies. Toutefois, les résultats obtenus dans la présente étude offrent d'autres perspectives. En effet, en n'apportant que des ajustements mineurs aux dates d'ensemencement (surtout en avançant ces dates puisque les risques de gel sont moindres), à la sélection des cultures et aux techniques de gestion (ces deux derniers facteurs n'étant examinés seulement que dans les modèles pour le Manitoba), on peut atténuer les pertes et même les éviter entièrement. Bien qu'il soit difficile de généraliser les résultats obtenus pour tous les scénarios, nous pouvons conclure que la plupart des répercussions économiques sont faibles, puisque les revenus agricoles varient en général entre 1 et 7 % et qu'en outre, dans la plupart des cas, il s'agit d'augmentations. Ces résultats corroborent la grande étude menée par Wilks, qui porte sur les réactions au changement climatique aux États-Unis. En utilisant les données météorologiques quotidiennes d'un GCM pour le doublement du CO_2 et en se servant d'un simulateur biologique des cultures analogue à celui que nous avons utilisé, Wilks trouve que la production de maïs augmente dans le cas d'une augmentation des températures surtout puisque le changement des dates d'ensemencement permet l'ensemencement de variétés à maturation tardive.

Les répercussions de l'effet de serre sont dans l'ensemble les plus faibles au Manitoba. Parmi les trois provinces étudiées, le Manitoba est celle qui est la moins touchée par le manque d'humidité et qui peut donc bénéficier de l'augmentation des températures sans subir trop fortement le stress hydrique. En outre, la plupart des régions du Manitoba disposent d'une grande variété d'options de culture. En Alberta, les pertes obtenues pour le scénario du GFDL2 peuvent être atténuées quelque peu si l'on modifie simplement l'assolement des cultures principales (plus grande proportion d'orge par exemple), mais une perte nette risque de continuer d'augmenter puisque les options de cultures sont limitées (et le prix de l'orge est bas à l'heure actuelle). Pour la Saskatchewan, tous les scénarios entrainent des gains puisque l'on assiste à une augmentation des précipitations et seulement à une faible augmentation des températures. Si l'augmentation des précipitations n'a pas lieu, (les résultats des GCM pour les précipitations sont beaucoup moins sûres que les résultats obtenus pour les températures; Schlesinger) la Saskatchewan risque de subir des pertes agricoles considérables (Williams, et autres).

Cette étude fait ressortir l'importance que l'on doit accorder à la détermination de la nature exacte des changements climatiques causés par l'effet de serre. Les scénarios du GISS et du GLDL qui représentent tous deux des applications de GCM pour un doublement du CO_2 déterminent pourtant des répercussions économiques distinctes. Ces répercussions varient aussi de façon appréciable en fonction des diverses distributions sur les jours des mois de la température moyenne mensuelle. Les auteurs de la présente étude ont essayé de déterminer les distributions quotidiennes appropriées en raison de leur importance cruciale dans la détermination des effets sur le rendement et l'on recommande aux spécialistes de la modélisation du climat de s'efforcer de rendre ces distributions disponibles.

AVERTISSEMENTS

On pourrait, en se fondant sur les résultats de l'analyse, prévenir le secteur agricole des Prairies que les effets moyens du changement climatique seront faibles et que le plus grand risque est celui d'une fréquence plus élevée de mauvaises récoltes due à la sécheresse. Toutefois, nous avons encore besoin de plus d'information sur les effets de l'augmentation du CO_2 sur la variabilité climatique. En outre, l'analyse peut sous-estimer les effets, qu'ils soient négatifs ou positifs, des scénarios climatiques sur le rendement des cultures puisque les modèles de rendement souffrent de la régression habituelle vers la moyenne (voir l'exemple de la qualité de l'ajustement de la figure 2). Enfin, on doit noter que les résultats présentés ici dépendent des conditions économiques et technologiques actuelles, tout particulièrement en ce qui concerne les prix. Dans les cas où les résultats des scénarios correspondent à des pertes de production pour certaines cultures et à des augmentations de production pour d'autres, ce sont les prix et les superficies ensemencées historiques qui déterminent si l'effet net est une augmentation ou une diminution des revenus.

BIBLIOGRAPHIE

Baier, W., J.A. Dyer, et W.R. Sharp, 1979. The Versatile Soil Moisture Budget. Bulletin Technique 1987, Centre de recherches sur les terres, Agriculture Canada, Ottawa.

Brooks, C.E.P., 1943. "Interpolation Tables for Daily Values of Meteorological Elements." Quarterly Journal of Royal Meteorological Society 69(300).

Hengeveld, H.G. et R.B. Street, n.d. "Development of CO_2 Climate Change Scenarios for Canadian Regions." Miméo. Centre Climatologique Canadien, Downsview, Ontario.

Kulshrestha, S.N., and M.T. Yap, 1985. The Prairie Regional Input-Output and Employment Model. ARAP, Regina.

Schlesinger, M.E., 1987. "Progress in Climate and Global Scale Dynamics: An Overview." Proceedings, Symposium on the Impact of Climate Variability and Change on the Canadian Prairies [Edmonton, Alberta, Septembre 9-11].

Williams, G.D.V., R.A. Fautley, K.H. Jones, R.B. Stewart, et E.E. Wheaton. "Estimating the Effects of Climatic Change on Agriculture in Saskatchewan, Canada." in Parry, et collaborateurs (directeur de publication). The Impact of Climatic Variations on Agriculture. Volume 1. Reidel, Dordrecht, Pays-Bas.